Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 19, No. 4, Oct.-Nov. 2023, p. 527-540

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۹، شماره ۴، مهر - آبان ۱۴۰۲ ص. ۵۴۰-۵۲۷



Research Article
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir



Investigating Changes in Color and Shrinkage of Dried Apple Slices Using Image Processing

J. Safari[1], S.J. Hashemi[2]*, A. Ranjbar Nedamani[3]

Received: 2022.07.03
Revised: 2022.11.06
Accepted: 2022.11.28
Available Online: 2022.11.30

How to cite this article:
Safari, J., Hashemi, S.J., & Ranjbar Nedamani, A. (2023). Investigating changes in color and shrinkage of dried apple slices using image processing. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 19*(4), 527-540. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2022.77460.1188

Introduction
Due to the importance of product appearance quality in product grading and the impact of factors such as area, uniformity, and various defects on the product quality, and also, the ability to recognize these features at a very low cost, image processing techniques, is one of the methods used to evaluate food quality. Therefore, in this study, a non-destructive image processing method was used to investigate the factors affecting the color and shrinkage of apple slices during drying.

Materials and Methods
Golden delicious apples were used in this research. The central part of the apple (including the rivet, seeds, and tail) was removed by a kernel separator and sliced into 3, 5, and 7mm thickness and approximately 7 mm diameter slices using a hand slicer without separating the skin. Three temperatures of 60, 70, and 80 °C were used to dry the samples. To determine the moisture content of a sliced apple, the samples were first weighed on a digital scale, then placed in a dryer, and the experiment was continued until the samples reached equilibrium mass. Due to the high importance of moisture ratio in controlling the drying process, moisture rate (MR) and moisture content (MC) were calculated, and samples were taken to investigate the amount of surface shrinkage, general color changes and browning index. After extracting L*, a*, and b* values, total color changes and browning index (to show the intensity of brown color in the product) for all samples before and after drying were calculated and evaluated to describe color changes after drying.

Results and Discussion
The drying kinetics results showed that the drying process significantly depends on the thickness of the samples. According to drying curves, at the early stages of drying, the decrease in humidity occurs more severely and the graph has a steeper slope, but as the process continues and the moisture content of the product decreases, the slope of the curve decreases. In the early stages of drying, due to the presence of water inside the fresh fruit cells, there is a pressure balance between the fruit and the surrounding environment, which causes the fruit to remain swollen. However, as the drying time progressed, contractile stresses are created, which cause superficial shrinkage. In this study, it was observed that increasing the thickness from 3mm to 7mm, reduced the final shrinkage on the surface of apple slices by 11% at 60 °C, 12% at 70 °C, and 13% at 80 °C. After moisture leaves the surface of the product and heat penetrates into the product, moisture begins to leave the product by conducting interstitial convection. When moisture moves to the surface, the mechanical balance and consequently the textural structure of the sample is disturbed due to the creation of different

1, 2 and 3- M.Sc. Graduated Student of Postharvest Technologies, Associate Professor and Assistant Professor of Biosystem Engineering Department, Sari Agricultural Sciences & Natural Resources University, respectively.
(*- Corresponding Auther Email: j.hashemi@sanru.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.2022.77460.1188

spaces in thickness. According to the results, increasing drying time and thus decreasing the moisture content, increases the percentage of apple shrinkage. On the other hand, at a certain thickness, with increasing temperature, the percentage of shrinkage changes in the thickness of the product decreases. Therefore, at thicknesses of 3, 5, and 7 mm, the increase in temperature from 60°C to 80°C, decreased the amount of shrinkage thickness by 16, 12, and 8%, respectively. It is in higher thicknesses that react with heat and change the color of the fruit due to the Maillard reaction. After complete drying of apple samples, the highest amount of color change was related to the thickness of 7 mm and a temperature of 80°C, which was equal to 1.254. Also, the lowest rate of discoloration of apple slices in a thickness of 3 mm and a temperature of 60 °C was 0.889. The browning index (Bi) in the high thickness of apple slices is less affected by the process temperature due to the increase in moisture level. For this reason, the rate of browning was very low among the experimental samples and the highest rate of browning was related to the thickness of 7 mm and the temperature of 80 °C was 585/2559. Also, the lowest rate of browning of apple slices was observed in the thickness of 3 mm and the temperature of 60 °C was 584.254.

Conclusion

Finally, it was found that the thickness and temperature factors can have an effect on the quality of product during drying process. The results of this study can provide a cheap and fast way to control the quality of fruits during drying and help producers of these products select the main process factors that affect the final quality.

Keywords: Browning, Drying, Image processing, Machine vision, Shrinkage

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۹، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۲ ص. ۵۴۰-۵۲۷

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 19, No. 3, Oct.-Nove. 2023, p. 527-540

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات رنگ و چروکیدگی ورقه‌های سیب خشک‌شده با استفاده از پردازش تصویر

جواد صفری[1]- سید جعفر هاشمی[2]*- آزاده رنجبر ندامانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۷

چکیده

خشک‌کردن با هوای داغ به دلیل استفاده از حرارت و طولانی بودن آن، باعث بروز تغییرات فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی می‌شود. دما، زمان و ضخامت نمونه می‌تواند بر ویژگی‌های کیفی مانند رنگ و میزان چروکیدگی محصول تأثیر مستقیم داشته باشد. هدف از این مطالعه، بررسی عوامل مؤثر بر رنگ و چروکیدگی ورقه‌های سیب در سطح و ضخامت طی فرآیند خشک‌کردن با استفاده از روش پردازش تصویر است. سیب زرد لبنانی (گلدن دلیشز) به‌صورت ورقه‌های دایره‌ای با قطر ۷ سانتی‌متر و ضخامت ۳، ۵ و ۷ میلی‌متری آماده و در سه دمای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد توسط آون هوای گرم خشک شد. تغییرات در ویژگی‌های رنگی و فیزیکی نمونه‌ها از طریق تصویربرداری اندازه‌گیری و توسط نرم‌افزار Image J تجزیه‌وتحلیل گردید. بر اساس نتایج تجزیه‌وتحلیل تصویر، تغییرات کلی رنگ و همچنین چروکیدگی مساحت محصول در سطح معناداری ۵٪، به دما وابسته نبوده و تغییر ضخامت تأثیر بیشتری در رنگ و چروکیدگی محصول داشته است. پس از مقایسه داده‌های به‌دست‌آمده، مشاهده شد که افزایش ضخامت هرچند باعث کاهش چروکیدگی در نمونه‌ها می‌شود، اما به دلیل تغییرات رنگی بالا و خشک و لاستیکی شدن بافت، مطلوب نیست. از میان تمام تیمارها، ضخامت ۵ میلی‌متر و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد را از لحاظ درصد چروکیدگی سطحی ۳۳ درصدی و تغییر رنگ کلی ۰/۹۲۲ به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه برای خشک‌کردن ورقه سیب پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: بینایی ماشینی، پردازش تصویر، چروکیدگی، خشک‌کردن، قهوه‌ای شدن

مقدمه

یکی از اساسی‌ترین اهداف خشک کردن محصولات کشاورزی، انتقال آب درون بافت جامد محصول به طرف سطح رویه آن تا یک تراز خاص بوده، به طوری که فساد میکروبی و زوال فعل‌وانفعالات شیمیایی به طور اساسی به حداقل مقدار ممکن برسد (Roostapour Maftoon Azad *et al*., 2015). یکی از مهم‌ترین تغییراتی که در زمان خشک‌شدن ماده‌غذایی همراه با خروج رطوبت از ماده رخ می‌دهد، کاهش حجم پوسته خارجی یا چروکیدگی است. چروکیدگی به ساختار بافت و مقدار رطوبت ماده غذایی در طول خشک‌شدن وابسته است (Rasouli and Seiiedlou, 2012). این تغییر ظاهر تأثیرات فراوانی بر روی نرخ خشک‌شدن و همچنین ضریب نفوذ مواد می‌گذارد که از متغیرهای اساسی در فرآیند خشک‌کردن به حساب می‌آید و یک عامل محدودکننده انتقال جرم (آب) هنگام خشک‌شدن موادغذایی محسوب می‌شود. این موضوع سبب افزایش مدت‌زمان لازم برای خشک‌شدن می‌گردد (Momenzadeh *et al*., 2011).

رنگ یکی دیگر از فاکتورهای کیفی مهم در محصولات خشک‌شده از نظر مصرف کننده است (Zia Alhagh, 2010). تغییر رنگ طی فرآیند، یک پدیده سطحی است که وابسته به دما و زمان فرآیند است. از طرفی دمای سطحی محصول در تشکیل رنگ و واکنش‌های شیمیایی وابسته به آن، اهمیت زیادی دارد. متغیرهای رنگی می‌توانند

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فناوری‌های پس از برداشت، دانشیار و استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: j.hashemi@sanru.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.2022.77460.1188

تحت تأثیر روش خشک‌شدن قرار گیرند. روش هوای داغ به دلیل زمان طولانی فرایند، بیشترین افت رنگی را در محصولات کشاورزی ایجاد می‌کند (Satorabi *et al*., 2021). امروزه تمایل به استفاده از نوآوری‌ها و اندازه‌گیری غیرمخرب برای نشان دادن کیفیت مواد غذایی افزایش یافته است. تکنیک پردازش تصویر[1] یکی از روش‌هایی است که برای ارزیابی کیفیت مواد غذایی استفاده می‌شود (Mohabbaty and Ahmadi Moghadam, 2019). از آنجا که کیفیت ظاهری در درجه بندی محصولات غذایی از اهمیت بالایی برخوردار است، عواملی چون مساحت، یکنواختی و عیوب مختلف سطحی محصول می‌توانند بر نحوه درجه‌بندی محصول و پذیرش توسط مصرف کننده اثر بگذارند. از طرفی به دلیل هزینه‌های بسیار پایین تشخیص این ویژگی‌ها توسط بینایی ماشینی[2]، تکنیک پردازش تصویر یکی از روش‌های غیر مخرب مناسب برای بررسی کیفیت سطحی و فیزیکی محصولات غذایی است (Khorshidi, 2016).

تکامل خصوصیات فیزیکی (چروکیدگی، چگالی و تخلخل) نمونه های سیب به شکل برش استوانه‌ای در حین خشک‌شدن همرفت بررسی و مشاهده شد که چروکیدگی حجم نمونه‌های سیب رابطه خطی با میزان رطوبت نشان داد (Mbarek and Mihoubi, 2019). سینتیک تغییرات رنگ برش های کدو تنبل در طول خشک‌کردن توسط هوای گرم همرفتی در دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد بررسی نشان داده شد که خشک‌شدن در دماهای بالاتر از ۸۰ درجه سانتی‌گراد با وجود کاهش زمان فرآیند، منجر به تیره‌شدن و تغییر رنگ قابل توجه کدو نسبت به برش‌های تازه شد (Onwude *et al*., 2017). برخی محققین به بررسی تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر سینتیک خشک‌شدن گیلاس پرداختند. در این پژوهش از خشک‌کن هوای گرم خشک‌کن انجمادی و خشک‌کن خلاء به کمک فراصوت استفاده شد نتایج نشان داد که خشک‌کن خلاء به کمک فراصوت، باعث تغییر رنگ و چروکیدگی کمتر شد (Turkmen *et al*., 2020). در یک مطالعه با استفاده از پردازش تصویر میزان چروکیدگی و تغییرشکل برش‌های سیب هنگام خشک‌شدن مشخص شد که افزایش دمای هوا موجب افزایش چروکیدگی می‌شود (Yuan *et al*., 2019). برخی محققین به منظور ارزیابی تغییرات رنگ و چروکیدگی گوجه فرنگی خشک‌شده از تکنیک پردازش تصویر استفاده کردند و مشاهده شد که با افزایش دما میزان چروکیدگی کاهش یافته و تغییر رنگ بیشتر شد (Mohabbaty and Ahmadi, 2019). با افزایش درخواست مصرف‌کننده برای محصولات با کیفیت، صنعت غذا وقت و هزینه زیادی برای اندازه‌گیری و کنترل رنگ محصولات صرف می‌کند. بنابراین ایجاد و گسترش یک سیستم برای اندازه‌گیری داده‌های رنگ محصولات غذایی به‌صورت سریع و با کمترین هزینه در طی فرآوری و انبارداری این محصولات حائز اهمیت است (Mohebbi, 2015). لذا در این پژوهش با استفاده از روش غیرتخریبی پردازش تصویر، عوامل مؤثر بر رنگ و چروکیدگی ورقه‌های سیب در سطح و ضخامت طی فرآیند خشک کردن مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

سیب زرد لبنانی از شهرستان ساری تهیه و پس از جداسازی نمونه‌های تقریباً هم اندازه جهت کاهش تنفس و فعل‌وانفعالات فیزیکی و شیمیایی، در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. حدوداً یک ساعت قبل از شروع آزمایش نمونه را از یخچال خارج کرده و اجازه داده شد تا به دمای محیط برسند. پس از هم‌دما شدن، توسط یک هسته‌گیر قسمت مرکزی سیب (شامل پرچه، دانه‌ها و دنباله) خارج گردید و با استفاده از یک برش دهنده دستی، سیب‌های هم اندازه، بدون جداکردن پوست، به شکل دایره و در ضخامت‌های ۳، ۵ و ۷ میلی‌متر و قطر تقریبی ۷ سانتی‌متر برش داده شد. جهت تعیین رطوبت ورقه‌های برش خورده سیب، ابتدا نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال (بادقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شده سپس در سه دمای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آون هوای گرم اف جی فن‌دار مدل BM55E موجود در آزمایشگاه ماشین‌های صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی ساری قرار داده شد و تا رسیدن نمونه‌ها به یک وزن تقریبی ثابت، درون خشک‌کن باقی ماند. وزن نمونه‌ها بعد از خروج نیز ثبت و طبق فرمول (۱)، رطوبت نمونه‌ها بر اساس وزن مرطوب به دست آمد:

$$MC = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \qquad (۱)$$

دراین‌رابطه MC محتوای رطوبتی(بدون بعد)، m_1 وزن اولیه نمونه‌ها بر حسب گرم و m_2 وزن نهایی نمونه‌ها بر حسب گرم است.

نسبت رطوبت در کنترل فرآیند خشک‌شدن حائز اهمیت است به همین جهت کسر رطوبتی نمونه‌ها پس از خشک‌شدن، با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد:

$$MR = \frac{M - M_0}{M_0 - M_e} \times 100 \qquad (۲)$$

که دراین‌رابطه MR کسر رطوبتی (بدون بعد)، M میزان رطوبت در هر لحظه (جرم ماده جامد بر پایه تر/ جرم آب)، M_0 رطوبت اولیه ماده (جرم ماده جامد بر پایه تر/ جرم آب) و Me رطوبت تعادلی (جرم ماده جامد بر پایه تر/ جرم آب) هستند (Mohabbaty and Ahmadi, 2019).

1- Image Process

2- Machine Vision

اندازه‌گیری چروکیدگی

معادلات مربوط به چروکیدگی سطحی و چروکیدگی ضخامت نیز توسط معادلات ۳ و ۴ به دست آمد:

$$Sh_A = \frac{A_t}{A_0} \quad (۳)$$

$$Sh_x = \frac{x_t}{x_0} \quad (۴)$$

که در آن Sh_A: درصد چروکیدگی سطحی و Sh_x : چروکیدگی ضخامت بوده و همچنین A_t و A_0: سطح مقطع در لحظه و سطح مقطع اولیه و x_t و x_0 : ضخامت در لحظه و ضخامت اولیه هستند (Yuan *et al.*, 2019).

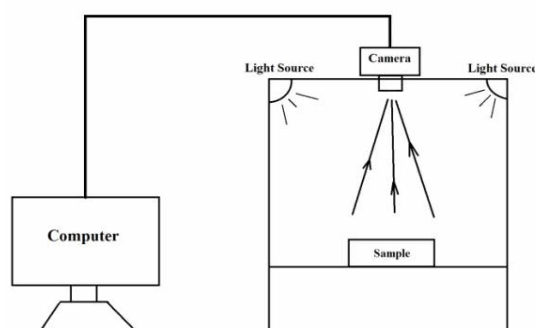
پردازش تصویر

برای تصویربرداری از دستگاه تشخیص رنگ IMG-Pardazesh CAM-System XI موجود در آزمایشگاه مهندسی ماشین‌های صنایع غذایی گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به شماره ثبت اختراع ۷۸۲۱۹ (شرکت ابزارکاران فن پویای شمال- هسته فنآور مستقر در مرکز رشد واحدهای فنآوری طبرستان- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری) که متشکل از یک دوربین Microsoft lifecam با کیفیت HD، دو لامپ LED برای روشنایی و محفظه پوشاننده است، استفاده شد (شکل ۱). تهیه تصویر دیجیتالی با دستگاه IMG-Pardazesh در شرایط ذیل صورت پذیرفت:

زاویه لامپ‌ها= ۴۵ درجه، میزان روشنایی= ۲۲۰۰ لوکس، ISO= اتوماتیک، ارتفاع دوربین از نمونه= ۳۰ سانتی‌متر و تعداد تصویر در ثانیه= ۳۰ fps

این دستگاه توسط کابل رابط به رایانه متصل بود تا تصویرهای گرفته شده برای مرحله پردازش تصویر در حافظه رایانه ذخیره گردد.





شکل ۱- سیستم تصویربرداری (سمت راست) و نحوه قرارگیری اجزاء و اتصال آن‌ها به رایانه (سمت چپ)

Fig. 1- Imaging system (right hand) and its processing schematic (left hand)

برای بررسی میزان تغییرات ایجاد شده (ΔE) در ویژگی‌های رنگی ماده غذایی طی فرایند خشک‌شدن، از شاخص‌های رنگی استفاده می شود. این شاخص‌ها شامل میزان روشنایی یا L^* از رنگ سیاه تا سفید، میزان قرمزی یا a^* از سبز تا قرمز و میزان زردی یا b^* از آبی تا زرد هستند (Gholipour Shahraki and Fazel, 2019). برای اندازه‌گیری از نرم‌افزار Image J استفاده شده است و از آنجایی که تصاویر نمونه‌ها در فضای رنگی RGB هستند، با استفاده از پلاگین color space convertor به فضای رنگی LAB تبدیل شدند. پس از انتقال تصاویر به فضای رنگی LAB، تصاویر را به‌صورت *stacks* تبدیل شدند؛ بدین صورت که با استفاده از گزینه Image ⇒ stacks ⇒ Image stacks تصاویر به stacks تبدیل شدند.پس از استخراج مقادیر L^*، a^* و b^*، تغییرات کلی رنگ (معادله ۵) و شاخص قهوه‌ای شدن (BI)[1] (جهت نشان دادن شدت رنگ قهوه‌ای در محصول) (معادله ۶) برای تمامی نمونه‌ها قبل و بعد از خشک‌شدن توسط معادلات ۵-۷ محاسبه شده و مورد ارزیابی قرار گرفت (Sabbagi *et al.*, 2018).

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (۵)$$

$$BI = \frac{[100-(x-0.31)]}{0.17} \quad (۶)$$

$$x = \frac{(a^*+1.75L^*)}{(5.64L^*+a^*+3.012b^*)} \quad (۷)$$

که در آن، L^*، a^* و b^* مؤلفه‌های رنگ پس از خشک‌شدن و L_0^*، a_0^* و b_0^* مؤلفه‌های رنگ قبل از خشک‌شدن می‌باشند (Khorshidi *et al.*, 2017).

تجزیه‌وتحلیل آماری

نتایج به‌دست‌آمده در نرم‌افزار SAS 9.4 و با استفاده از طرح آماری فاکتوریل برای فاکتورهای ضخامت و دما مورد بررسی قرار گرفت. برای

1- Browning index

آزمون مقایسه میانگین (LSD) نیز از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد.

بحث و نتایج

سینتیک خشک‌شدن

باتوجه‌به شکل ۲، رطوبت نمونه‌ها تا زمان رسیدن به رطوبت تعادلی، به‌صورت نمایی کاهش می‌یابد. در یک ضخامت مشخص افزایش دما موجب افزایش سرعت انتشار و خروج رطوبت از نمونه‌ها گردیده و منحنی‌های به‌دست‌آمده از تغییرات رطوبت محصول در واحد زمان دارای روند کاهشی زیادی هستند. به نحوی که در مراحل اولیه خشک‌شدن کاهش رطوبت با شدت بیشتری رخ داده و نمودار دارای شیب بیشتری است اما با ادامه فرآیند و کاهش میزان رطوبت محصول، شیب منحنی کاهش می‌یابد که در این مرحله محصول وارد مرحله خشک‌شدن با آهنگ نزولی گردیده است. نقی پورزاده ماهانی و آق‌خانی (Naghipour zadeh mahani and Aghkhani, 2016) هنگام تحقیق بر روی هویج، تأثیر ضخامت میوه بر روند و زمان خشک‌شدن آن را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که افزایش ضخامت میوه باعث افزایش مدت‌زمان خشک‌شدن نمونه‌ها در دماها و سرعت‌های مختلف آزمایش می‌گردد که دلیل این نتیجه‌گیری را بالا بودن سرعت خروج رطوبت محصول از طریق فرآیند انتشار سطحی در ابتدای فرآیند و کاهش سرعت فرآیند با گذشت زمان به دلیل خروج رطوبت از فضای موئینه درون محصول عنوان کردند. در نتیجه هرچقدر ضخامت محصول بیشتر شود، انتقال رطوبت از درون محصول به سطح زمان بیشتری نیاز دارد. همچنین فرهمند و همکاران (Farahmand *et al.*, 2015) هنگام خشک‌کردن خرمالو، فرزان و همکاران (Farzan *et al.*, 2017) پس از خشک‌کردن میوه زالزالک و هنگام خشک‌کردن لیمو در مورد دمای خشک‌کن به نتایج مشابهی دست یافتند (Torki *et al.*, 2016). این محققین گزارش دادند که افزایش دما موجب افزایش نرخ خشک‌شدن و در نتیجه کاهش زمان فرآیند می‌گردد.

جدول ۱- تجزیه واریانس کسر رطوبتی، چروکیدگی سطح و ضخامت، تغییر رنگ و شاخص قهوه‌ای شدن ورقه‌های سیب نسبت به دما، ضخامت و اثر متقابل ضخامت و دما

Table 1- Analysis of variance of apple slices moisture Ratio, surface and thickness shrinkage, color change and browning index according to temperature, thickness and the interaction of thickness and temperature

		میانگین مربعات Mean Squares				
منبع تغییر Source	درجه آزادی df	کسر رطوبتی Moisture rate	چروکیدگی سطح Surface shrinkage	چروکیدگی ضخامت Thickness shrinkage	تغییر رنگ Color change	قهوه‌ای شدن Browning index
دما Temperature	2	0.209**	81.01*	664.634**	0.153634**	0.00001122[ns]
ضخامت Thickness	2	0.393**	819.717**	930.416**	0.014543[ns]	0.00000206[ns]
دما × ضخامت Temperature × Thickness	4	0.014**	6.494[ns]	41.526**	0.097973**	0.00000376[ns]
خطا Error	45	0.003	11.636	1.881	0.007854	0.00000355
Coeff Var	-	32.47	10.07	2.08	8.67	0.0003

**و * به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

**and* show significant differences at the level of 1% and 5%, respectively.

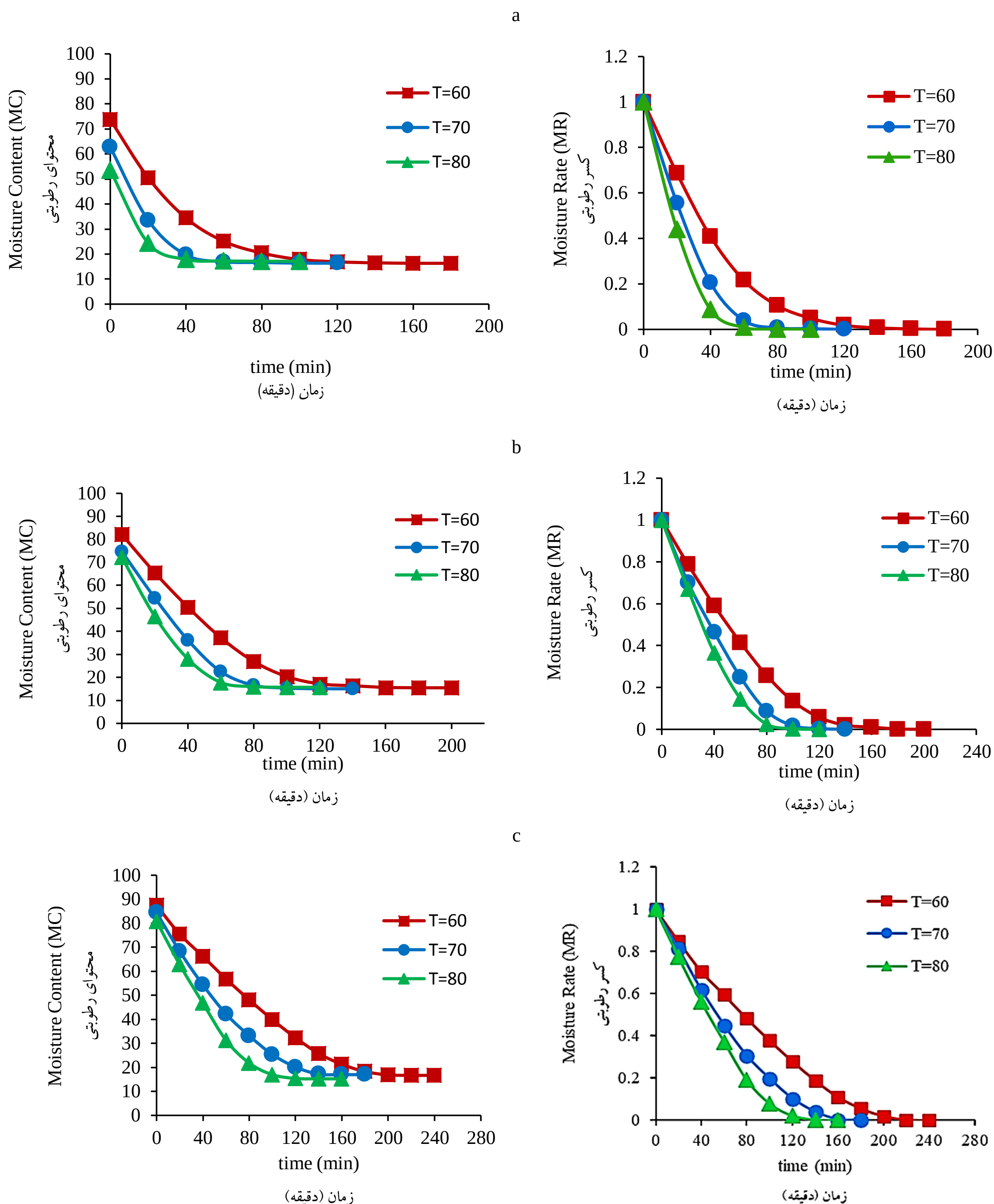
جدول ۲- نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل ضخامت و دما بر کسر رطوبتی در زمان ۸۰ دقیقه

Table 2- Test results comparing the average interaction of thickness and temperature on moisture content at 80min

	ضخامت Thickness (mm)		
دما Temperature (°C)	3	5	7
60	0.105[d]	0.258[e]	0.482[a]
70	0.006[e]	0.089[d]	0.304[b]
80	0.002[e]	0.025[e]	0.19[c]

*حروف مشابه در هر سطر و ستون عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

*The same letters in each row and column have no meaning.



شکل ۲- منحنی‌های محتوای رطوبتی (MC) و کسر رطوبتی (MR) نسبت به زمان در ضخامت‌های ۳، ۵ و ۷ میلی‌متر (a، b و c) و سه دمای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد

Fig. 2- Moisture Content (MC) and Moisture Rate (MR) with respect to time for samples with thicknesses of 3, 5 and 7 mm (a, b and c) at three temperatures of 60, 70 and 80 °C

باتوجه‌به نتایج نشان‌داده‌شده در جدول ۱، اثر مستقل دما و ضخامت ورقه‌های سیب و همچنین اثر متقابل ضخامت و دما (دما × ضخامت) بر میزان رطوبت خارج شده از نمونه‌ها در زمان ثابت ۸۰ دقیقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است که باتوجه‌به معنی‌دار شدن اثر متقابل ضخامت و دما، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در جدول ۲ نشان می‌دهد که در مدت‌زمان ۸۰ دقیقه، بیشترین میزان رطوبت باقی‌مانده در نمونه‌های سیب مربوط به دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و ضخامت ۷ میلی‌متر به میزان ۰/۴۸۲ بوده است. همچنین کمترین مقدار رطوبت باقی‌مانده در نمونه‌های سیب مربوط به دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و ضخامت ۳ میلی‌متر به میزان ۰/۰۰۲ به دست آمد.

چروکیدگی سطح

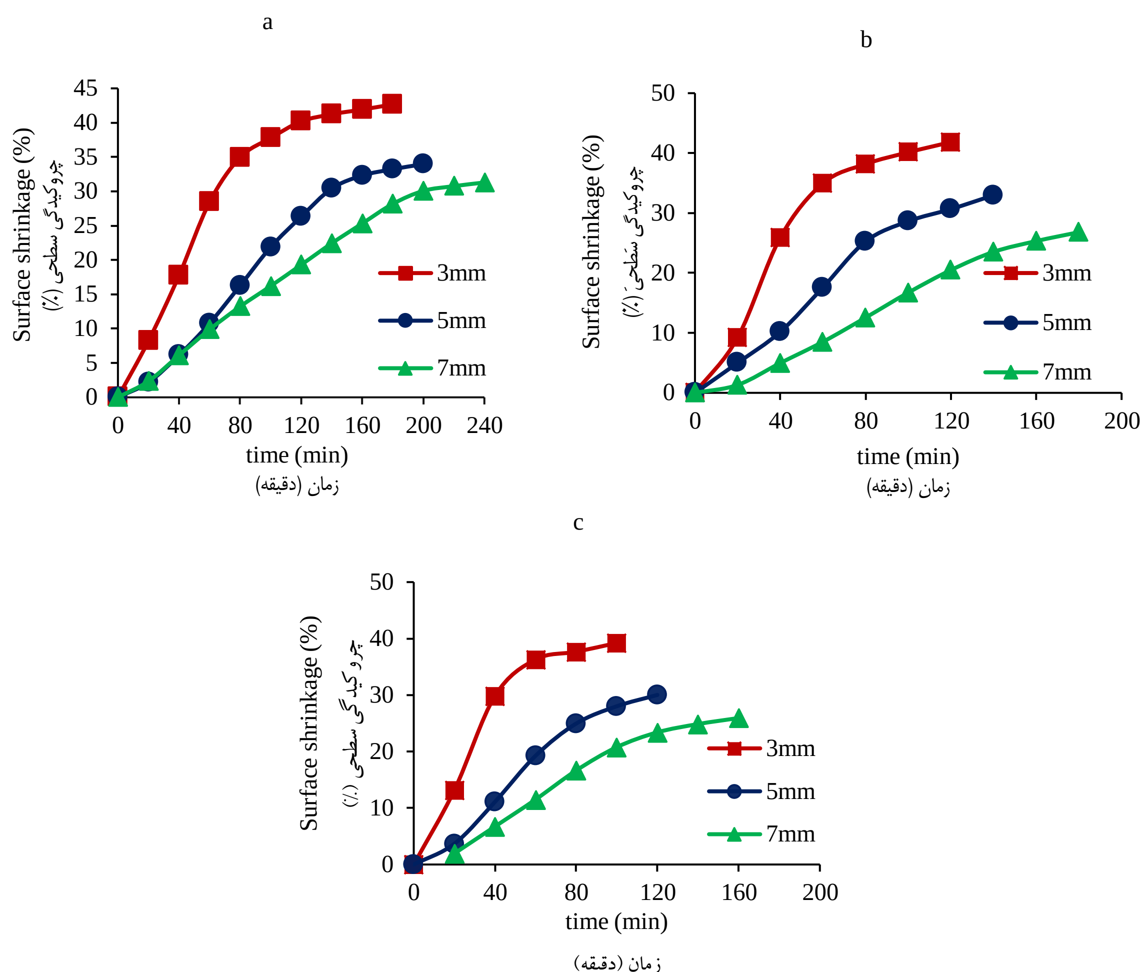
در جدول ۳ میزان چروکیدگی سطحی یکی از نمونه‌های سیب با ضخامت ۵ میلی‌متر و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد مشخص است که توسط نرم‌افزار ایمیج‌جی پردازش گردیده است. در یک ضخامت خاص، میزان چروکیدگی ورقه‌های سیب با گذشت زمان به دلیل کاهش محتوی رطوبت و نیز کاهش فشار داخلی محصول افزایش می‌یابد. به دلیل وجود آب درون سلول میوه تازه، یک تعادل فشار بین میوه و محیط اطراف وجود دارد که باعث متورم ماندن میوه می‌شود. اما با طولانی‌تر شدن زمان خشک‌شدن محصول، به دلیل خروج آب از درون سلول‌ها و کاهش فشار داخلی، باعث ایجاد تنش‌های انقباضی می‌گردد. این تنش‌های انقباضی موجب ایجاد تغییرات ساختاری منافذ و خلل‌وفرج‌ها و مسیرهای مویینی که تا قبل از این با مولکول آب پر شده بودند گشته که باعث بروز چروکیدگی می‌شود (Taghinezhad *et al.*, 2020). باتوجه‌به شکل ۳ مشاهده می‌شود که افزایش ضخامت از ۳ میلی‌متر تا ۷ میلی‌متر، موجب کاهش چروکیدگی نهایی ورقه‌های سیب به میزان ۱۱ درصد در دمای ۶۰ درجه، ۱۲ درصد در دمای ۷۰ درجه و ۱۳ درصد در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد شد.

روستاپور و همکاران (Roosata pour *et al.*, 2015) هنگام بررسی اثر ضخامت و دمای خشک‌کن هوای گرم بر خشک‌شدن سیب زمینی به این نتیجه رسیدند که افزایش ضخامت تأثیر معنی‌داری در کاهش مساحت سیب‌زمینی‌ها داشته و چروکیدگی کمتر گشته است که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد.

جدول ۳- چروکیدگی سیب در ضخامت ۵ میلی‌متر و دمای ۷۰ درجه در طول روند خشک‌شدن

Table 3- Shrinkage of apples with 5mm thickness during the drying at 70°C

زمان (دقیقه) Time (min)	**0**	**20**	**40**	**60**	**80**
تصویر رنگی Color image					
تصویر پردازش شده Processed image					
زمان (دقیقه) Time (min)	100	120	140		
تصویر رنگی Color image					
تصویر پردازش شده Processed image					



شکل ۳- تغییر چروکیدگی سطحی در سه دمای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد (a، b و c) و سه ضخامت ۳، ۵ و ۷ میلی‌متر بر حسب زمان

Fig. 3- The changes of surface shrinkage at three temperatures of 60, 70 and 80 °C (a, b and c) and three thicknesses of 3, 5 and 7 mm over drying time

همچنین خورشیدی و همکاران (Khorshidi *et al*., 2016) در خشک‌کردن گلابی به وسیله خشک‌کن هوای داغ به این نتیجه رسیدند که خشک‌کردن میوه در دماهای بالاتر علاوه بر کاهش زمان خشک‌شدن محصول، منجر به کاهش درصد چروکیدگی آن نیز می‌شود زیرا با افزایش زمان خشک‌شدن و کاهش رطوبت داخلی، فشار داخل سلول‌ها و منافذ موئینه کاهش یافته که این موضوع منجر به چروکیدگی بیشتر میوه می‌گردد و با افزایش دمای هوای خشک‌کن می‌توان زمان فرآیند و درنهایت میزان چروکیدگی محصول را کاهش داد. با این وجود تقی نژاد و همکاران (Taghinezhad *et al*., 2020) در تحقیق بر روی میوه «به» به این نتیجه رسیدند که افزایش دما موجب افزایش چروکیدگی گردید که با نتیجه این تحقیق مغایرت دارد و دلیل این مغایرت را می‌توان تفاوت ساختاری، محتوای آب و تخلخل بافت میوه «به» عنوان نمود.

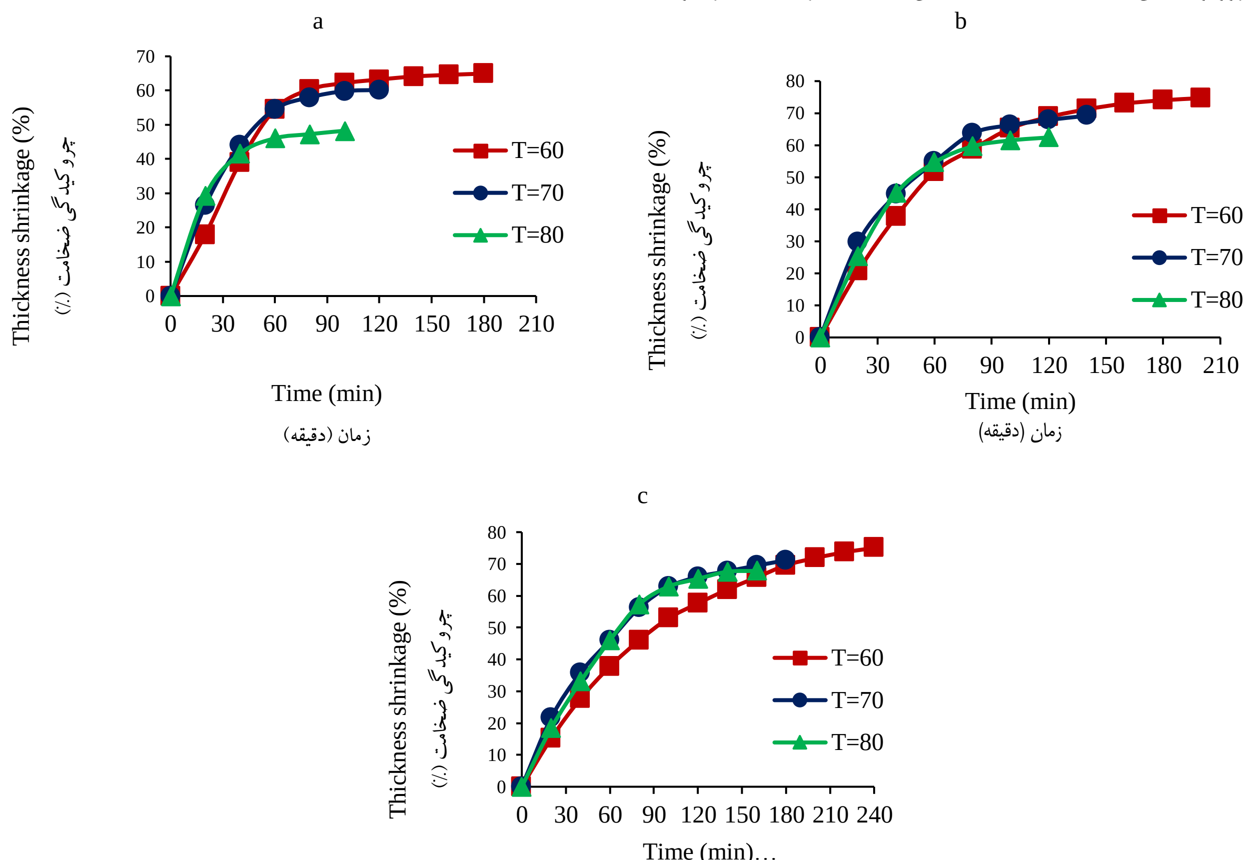
باتوجه‌به نتایج تجزیه‌وتحلیل آماری چروکیدگی سطح (جدول ۱)، اثر مستقل هر یک از فاکتورهای ضخامت و دما به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود؛ اما اثر متقابل آنها بر میزان چروکیدگی سطحی ورقه‌های سیب معنی‌دار نیست. همچنین میزان اثربخشی ضخامت ورقه‌های سیب بر روی چروکیدگی آن‌ها بیشتر از اثر تفاوت دما است. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD برای اثر مستقل ضخامت بر روی چروکیدگی نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج نشان دادند مقایسه میانگین اثر ضخامت بر تغیر چروکیدگی برای ضخامت‌های ۳، ۵، و ۷ میلی‌متر، به‌ترتیب ۴۱/۲۴۳، ۳۲/۳۱۷ و ۲۸/۰۱۲ می‌باشد.

چروکیدگی ضخامت

درصد تغییرات چروکیدگی ضخامت ورقه‌های سیب در حین خشک‌شدن بر حسب تابعی از زمان در شکل ۴ نشان‌داده‌شده است. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از میزان چروکیدگی ورقه‌های سیب،

مشاهده می‌شود که با افزایش زمان خشک‌شدن و درنتیجه کاهش محتوای رطوبتی، درصد چروکیدگی‌های سیب افزایش می‌یابد. از طرفی، باتوجه‌به شکل ۴ مشاهده می‌گردد که در یک ضخامت معین، با افزایش دما درصد تغییرات چروکیدگی در ضخامت محصول کاهش یافته است. از همین رو در ضخامت‌های ۳، ۵ و ۷ میلی‌متر، افزایش دما از ۶۰ درجه سانتی‌گراد به ۸۰ درجه سانتی‌گراد، میزان چروکیدگی ضخامت به‌ترتیب ۱۶، ۱۲ و ۸ درصد کاهش یافت. می‌توان بیان کرد که پس از خروج رطوبت از سطح محصول و نفوذ گرما به درون آن، رطوبت از طریق هدایت همرفت میان بافتی شروع به خروج از محصول می‌کند. هنگامی که رطوبت به سمت سطح حرکت می‌کند، تعادل مکانیکی و در نتیجه ساختار بافتی نمونه به دلیل ایجاد فضاهای مختلف در ضخامت به هم می‌خورد. این تنش ناشی از عدم تعادل، منجر به بروز چروکیدگی در ضخامت محصول می‌گردد. طبایی و همکاران (Tabaei *et al.*, 2020) پس از تحقیق بر روی خرمالو در خشک‌کن مایکروویو به این نتیجه رسیدند که کاهش ضخامت برگه‌های خرمالو در یک توان ثابت به دلیل خروج سریع‌تر رطوبت از بافت محصول، درصد چروکیدگی ضخامت کاهش می‌یابد که با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد.

باتوجه‌به نتایج تجزیه‌وتحلیل آماری میزان چروکیدگی ضخامت ورقه‌های سیب در جدول ۱، فاکتورهای دما، ضخامت و اثر متقابل دما و ضخامت در سطح یک درصد معنی‌دار هستند. بر اساس مقایسه میانگین‌ها (LSD) در جدول ۴، با افزایش دما از ۶۰ درجه سانتی‌گراد به ۸۰ درجه سانتی‌گراد به دلیل خروج سریع‌تر رطوبت، میزان چروکیدگی در ضخامت کاهش‌یافته است. پس از خشک‌شدن کامل ورقه‌های سیب، کمترین مقدار چروکیدگی در ضخامت نمونه‌ها مربوط به ضخامت ۳ میلی‌متر و دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد برابر با ۴۸/۲۷۷ درصد به دست آمد. همچنین بیشترین مقدار چروکیدگی در ضخامت ۷ میلی‌متر و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۷۵/۰۳۵ درصد مشاهده گردید.



شکل ٤- تغییر چروکیدگی در ضخامت در سه ضخامت ۳، ۵ و ۷ میلی‌متر (a، b و c) و سه دمای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد بر حسب زمان

Fig. 4- The changes in thickness shrinkage at three thicknesses of 3, 5 and 7 mm (a, b and c) and three temperatures of 60, 70 and 80 °C during drying time

جدول ٤- نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل ضخامت و دما بر چروکیدگی ضخامت سیب

Table 4– Test results comparing the average interaction of thickness and temperature on apple shrinkage

دما Temperature(°C)	ضخامت Thickness(mm) 3	5	7
60	64.959[d]	74.694[a]	75.035[a]
70	60.172[f]	69.176[c]	71.182[b]
80	48.277[g]	62.422[g]	67.812[c]

حروف مشابه در هر سطر و ستون عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

The same letters in each row and column have no meaning.

تغییرات کلی رنگ

تغییرات کلی رنگ به توصیف میزان تغییر رنگ محصول قبل و پس از اتمام فرآیند خشک‌کردن می‌پردازد. فاکتورهای ضخامت، دما و اثر متقابل تغییرات ضخامت و دما بر میزان تغییررنگ نمونه‌ها در این آزمایش مورد بررسی قرارگرفت که نتایج حاصله معنی‌دار بودن فاکتور ضخامت و اثر متقابل ضخامت و دما را در سطح یک درصد را نشان می‌دهند (جدول ۵). واکنش‌های مربوط به قندهای موجود در میوه‌جات با حرارت تشدید شده و بر اثر واکنش مایلارد رنگ میوه تغییر می‌کند و چون در ضخامت‌های بالاتر مواد قندی بیشتر است و همچنین زمان بیشتری برای خشک‌شدن نیاز دارند، قند موجود بیشتر در معرض حرارات قرار گرفته و رنگدانه‌های قهوه‌ای بیشتری بر اثر واکنش مایلارد رخ می‌دهد (Miranda *et al*., 2009). طبایی و همکاران (Tabaei *et al*., 2020) در خشک‌کردن خرمالو نیز به نتایج مشابهی دست یافتند که افزایش ضخامت موجب افزایش تغییر رنگ کلی نمونه‌های آزمایش گشته و دلیل این امر را وجود مواد قندی، پروتئین و آمینو اسیدها در این مواد گزارش کردند که به شدت تحت تأثیر دما تغییر پیدا می‌کنند و افزایش دما و ضخامت محصول، موجب تغییر رنگ قابل توجه در محصول می‌شود که در شکل ۵ نیز این موضوع مشاهده می‌شود.

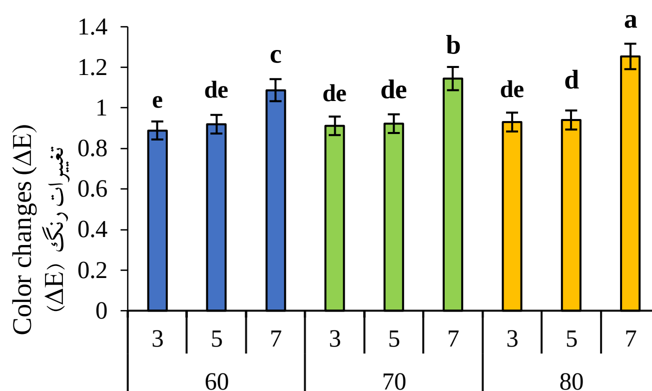
جدول ۵- نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر متقابل ضخامت و دما بر تغییر رنگ

Table 5- Test results comparing the average interaction of thickness and temperature on color change

دما Temperature (°C)	ضخامت Thickness (mm) 3	5	7
60	0.889[e]	0.919[de]	1.087[c]
70	0.912[de]	0.922[de]	1.145[b]
80	0.93[e]	0.94[d]	1.254[a]

حروف مشابه در هر سطر و ستون عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

The same letters in each row and column have no meaning.



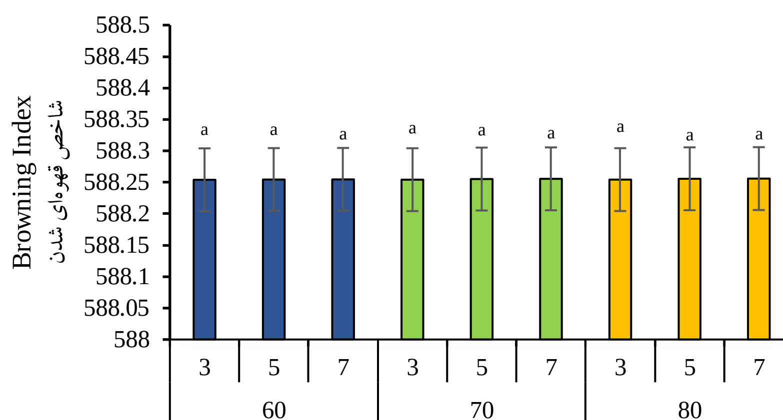
شکل ۵- نمودار میانگین تغییرات رنگ بر حسب ضخامت و دما

Fig. 5- Average color changes in terms of thickness and temperature

باتوجه‌به معنی‌دار شدن اثر متقابل ضخامت و دمای هوا بر روی میزان تغییرات رنگ (ΔE)، مقایسه میانگین‌ها (LSD) در جدول ۵ نشان می‌دهد که پس از خشک‌شدن کامل نمونه‌های سیب، بیشترین میزان تغییر رنگ مربوط به ضخامت ۷ میلی‌متر و دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد است که برابر با ۱/۲۵۴ به دست آمد. همچنین کمترین میزان تغییر رنگ ورقه‌های سیب در ضخامت ۳ میلی‌متر و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۰/۸۸۹ مشاهده گردید.

شاخص قهوه‌ای شدن

شکل ۶ میانگین شاخص قهوه‌ای شدن ورقه‌های سیب در ضخامت و دماهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. باتوجه‌به شکل ۶ با افزایش ضخامت نمونه‌ها، شاخص قهوه‌ای شدن افزایش یافته به‌طوریکه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین تغییر (حدود ۵۸۸/۲۵۵۹) و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد کمترین تغییر (حدود ۵۸۸/۲۵۴) را نشان می‌دهد. تفاوت معنی‌داری در میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌ها مشاهده نگردید و جدول نتایج تجزیه واریانس ارزیابی شاخص قهوه‌ای شدن (Bi) (جدول ۱) نشان‌دهنده عدم معنی‌دار بودن اثر هریک از فاکتورهای ضخامت، دما و اثر متقابل آن‌ها است. قهوه‌ای شدن در ضخامت‌های بالای سیب، به دلیل افزایش سطح رطوبت، کمتر تحت تأثیر دمای فرآیند قرار می‌گیرد. صباغی و همکاران (Sabbaghi *et al.*, 2018) به نتیجه‌ای مشابه دست یافتند و یافته‌های این تحقیق را مورد تأیید قرار دادند. در حالی که آنوود و همکاران (Onwude *et al.*, 2017) مشاهده کردند که افزایش دما بر میزان قهوه‌ای شدن کدوتنبل تأثیر معنی‌داری داشته و موجب افزایش میزان شاخص قهوه‌ای شدن کدو تنبل گردید. بر اساس گزارش این محققین، افزایش دما موجب اکسیداسیون کاروتنوئیدها از جمله بتا کاروتن می‌گردد که افزایش این اکسیداسیون، کاهش میزان a* و b* به طور قابل توجهی را به دنبال داشت که موجب افزایش شاخص قهوه‌ای شدن کدوتنبل شد. علاوه بر این، تولید رنگدانه‌های ملانین و کینون بر اثر اکسیداسیون کاروتنوئیدها را از دیگر عوامل افزایش شاخص قهوه‌ای شدن کدو تنبل در دماهای بالا عنوان کردند. همچنین محبی (Mohebi, 2015) از خشک‌کردن گوجه فرنگی، کاهش شاخص قهوه‌ای شدن نمونه‌ها با افزایش دما را گزارش کرد و دلیل این امر را افزایش تعداد رنگدانه‌های قهوه‌ای در دمای پایین به خاطر افزایش زمان خشک‌شدن محصول عنوان کرد.



شکل ٦- میانگین شاخص قهوه‌ای شدن ورقه‌های سیب بر حسب ضخامت و دما

Fig. 6- Average index of browning of apple slices in terms of thickness and temperature

نتیجه‌گیری

امروزه با ورود تکنولوژی‌های غیر تخریبی مانند پردازش تصویر و بینایی ماشینی، بررسی رنگ محصولات خشک شده که نیازمند توسعه روش‌ها، مدل‌ها و درک درست از متغیرهای مورد بررسی است، در صنعت غذا امکان‌پذیر شده است. در این مقاله با استفاده از روش غیر تخریبی پردازش تصویر، اثر ضخامت میوه و دمای فرآیند بر کیفیت رنگی و میزان چروکیدگی نمونه‌های سیب بررسی شد. نتایج نشان داد که رطوبت نمونه‌ها تا حد رطوبت تعادلی، به‌صورت نمایی کاهش می‌یابد و در یک ضخامت معین افزایش دما موجب افزایش سرعت انتشار رطوبت گردید. با کاهش ضخامت و افزایش دما، سینتیک خشک‌شدن محصول روند کاهشی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تجزیه‌وتحلیل تصویر، تغییرات کلی رنگ و همچنین چروکیدگی سطح به دما وابسته نبوده و تغییر ضخامت تأثیر بیشتری در رنگ و چروکیدگی محصول داشته است. پس از مقایسه داده‌ها مشاهده گردید که افزایش ضخامت هرچند باعث کاهش چروکیدگی در نمونه‌ها می‌شود، اما به دلیل تغییرات رنگ بالا و خشک و الاستیکی شدن بافت، مطلوب نیست.

نهایتاً در مقایسه تیمارها، ضخامت ۵ میلی‌متر و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد از لحاظ حفظ کیفیت بافت، درصد چروکیدگی سطحی (۳۳ درصدی) و تغییر رنگ کلی (۰/۹۲۲) به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار برای خشک‌کردن پیشنهاد می‌گردد. فاکتور ضخامت و دما هرکدام می‌توانند به‌نوعی در این دو فاکتور کیفی اثر قابل‌ملاحظه‌ای داشته باشند. نتایج این پژوهش می‌تواند روشی ارزان و سریع برای کنترل کیفی میوه‌جات حین خشک‌شدن ارائه کند و به تولیدکنندگان این محصولات در انتخاب فاکتورهای اصلی فرآیند که بر کیفیت نهایی اثر می‌گذارند، کمک نماید.

منابع

1. Farahmand, A., Mousavi Baygi, S.F., Taghizadeh, M., & Ziafroughi, M.A. (2015). Quality characteristics of persimmon slices during infrared and hot-air frying. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *11*(5), 654-664. https://doi.org/10.22067/ifstrj.v0i0.32844
2. Farzan, E., Rahimi, M.R., & Madadi Avargani, V. (2017). Drying kinetic and shrinkage study of a Hawthorn sample in a vibro fluidized bed dryer using an adsorption system in order to control of inlet air humidity. *Innovative Food Technologies*, *5*(1), 107-122. https://doi.org/10.22104/jift.2017.508
3. Gholipour Shahraki, P., & Fazel, M. (2019). Effect of edible coating and time and temperature of drying on properties of dried fig. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *15*(1), 77-89. https://doi.org/10.22067/ifstrj.v0i0.68897
4. Khorshidi, Y., Kalantari, D., & Asghari, A. (2017). Investigating the influence of drying temperature and air flow velocity on some qualitative specifications of the sliced pear during drying and employment of image processing technique. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, *6*(1), 87-102. https://doi.org/10.22101/JRIFST.2017.05.22.617
5. Mbarek, R., & Mihoubi, D. (2019). Development of physical properties of apple during dehydration. *Periodica Polytechnical Chemical Engineering*, *63*(4), 591-599. https://doi.org/10.3311/PPch.13033
6. Miranda, M., Maureira, H., Rodriguez, K., & Vegalvez, A. (2009). Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering*, *91*(2), 297–304. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.007
7. Mohabbaty, M.H., & Ahmadi Moghadam, P. (2019). *Determination of wrinkles, water absorption capacity and color changes of tomato slices during drying process*, 2nd International Conference and 6th National Conference on Organic and Conventional Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
8. Mohebi, S. (2015). *Qualitative evaluation of tomato during drying process using different methods*. The thesis (MS) submitted to the Graduate for the degree of Master of Science in Mechanical Engineering of Biosystems. Department of Mechanical Engineering of Biosystems. Urmia University. Iran.
9. Mohsenabadi, M. (2012). *Effect of some enzymatic browning inhibitors on color change in green olive fruits preprocessing*. Master Thesis in Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Iran.
10. Momenzadeh, L., Zomorodian, A., & Mowla, D. (2011). Applying artificial neural network for shrinkage prediction of green pea in a microwave assisted fluidized bed dryer. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, *6*(4), 277-285. https://doi.org/10.22067/ifstrj.v6i4.9285
11. Naghipour zadeh Mahani, M., & Aghkhani, M.H. (2016). The effect of slicing type on drying kinetics and quality of dried carrot. *Journal of Agricultural Machinery*, *6*(1), 224-235. https://doi.org/10.22067/jam.v6i1.34483
12. Onwude, D.I., Hashim, N., Janius, R., Nawi, N.M., & Abdan, K. (2017). Color change kinetics and total carotenoid content of pumpkin as affected by drying temperature. *Italian Journal of Food Science*, *29*(1), 1-18.
13. Rasouli, M., & Seiiedlou, S. (2012). Brief report: A study of the shrinkage changes and mathematical modeling of garlic (*Allium Sativum* L.) during convective drying. *Journal of Agricultural Machinery*, *2*(1), 67-73. https://doi.org/10.22067/jam.v2i1.14295
14. Roosata pour, O.R., Maftoon Azad, N., & Khalu Ahmadi, A. (2015). Study of drying kinetics and shrinkage of potato slice in a parallel flow dryer. *Journal of Food Science and Technology(Iran)*, *12*(47), 109-122.
15. Sabbaghi, H., Ziaiifar, A.M., & Kashaninejad, M. (2018). Fractional conversion modeling of color changes in apple during simultaneous dry-blanching and dehydration process using intermittent infrared irradiation. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *14*(2), 383-397. https://doi.org/10.22067/ifstrj.v0i0.62293
16. Satorabi, M., Salehi, F., & Rasouli, M. (2021). Effect of edible coatings on the color and surface changes of apricot slices during drying in infrared system. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, *18*(112), 21-30. https://doi.org/10.52547/fsct.18.112.21
17. Seyedabadi, E. (2017). *Numerical modeling of simultaneous mass and heat transfer with shrinkage effect during convective drying of banana*. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad. Iran.

18. Tabaei, A., Hazbavi, I., & Shahbazi, F. (2020). Modeling and optimization of persimmon drying using response surface methodology. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, *17*(98), 109-119. https://doi.org/10.29252/fsct.17.01.10
19. Taghinezhad, E., Kaveh, M., Jahanbakhshi, A., & Golpour, I. (2020). Use of artificial intelligence for the estimation of effective moisture diffusivity, specific energy consumption, color and shrinkage in quince drying. *Journal of Food Process Engineering*, *43*(4), 1-12. https://doi.org/10.1111/jfpe.13358
20. Torki Harchegan, M., Sadeghi, M., Ghanbarian, D., & Moheb, A. (2016). Dehydration characteristics of whole lemons in a convective hot air dryer. *Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering-International English Edition*, *35*(3), 65-73. https://doi.org/10.30492/ijcce.2016.22060
21. Turkmen, F., Karasu, S., & Karadag, A. (2020). Effects of different drying methods and temperature on the drying behavior and quality attributes of cherry laurel fruit. *Mdpi. Processes*, *8*(7), 761-786. https://doi.org/10.3390/pr8070761
22. Khorshidi, Y. (2016). *Investigation of drying kinetics of pear fruit slices in a thin layer dryer and their dimentional changes by image processing techniques.* M.Sc thesis of Mechanics of Bio-System Engineering. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Iran.
23. Yuan, Y., Tan, L., Xu, Y., Yuan, Y., & Dong, J. (2019). Numerical and experimental study on drying shrinkage-deformation of apple slices during process of heat-mass transfer. *International Journal of Thermal Sciences, 136*, 539-548. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.10.042
24. Zia Alhagh, S.H.R. (2010). Determination of the optimum conditions for preparing and drying of potato slices. *Journal of Food Research (University of Tabriz), 19*(1)(2), 23-36.